

Physik und Philosophie

Jordan, Pascual

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 14, 1962, S.1-12



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Physik und Philosophie

Von Pascual Jordan

Vorgelegt von E. Justi

(Eingegangen am 2. 4. 1962)

Übersicht: Die erkenntnistheoretische Analyse dessen, was die Physiker tatsächlich tun, wenn sie physikalische Forschung treiben, läßt folgende Stufen des Erkenntnisvorgangs feststellen: Durchführung von Experimenten. — Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse in Regeln bzw. in mathematischen Formeln. — Aufklärung der logischen Zusammenhänge zwischen verschiedenen in dieser Weise festgestellten Gesetzmäßigkeiten. — Aufstellung möglichst weniger, möglichst umfassender Gesetze, aus denen die sonstigen erkannten Gesetze logisch abgeleitet werden können.

Summary: Analyzing philosophically what the physicist really does when performing physical research work, we see the following stages of the process of gaining physical knowledge: Performance of experiments. — Condensation of experimental results in rules or laws, especially in mathematical formulae. — Clarifying of logical connections between different laws found in this way. — Formulation of as few as possible, as comprising as possible laws, allowing logical deduction of all known other laws.

Wenn man das Verhältnis von Physik und Philosophie beurteilen wollte auf Grund der Ansichten von Physikern über philosophische Fragen, so würde man kaum zu einem einheitlichen Bilde kommen. Denn diese Ansichten sind natürlich größtenteils durchaus persönlich, also nicht frei von subjektivem Ermessen; also auch mannigfaltig verschieden und gegensätzlich, jedenfalls weit entfernt von systematischer Einheitlichkeit. Wohl aber ergibt sich ein durchaus klares und bestimmtes Bild, wenn wir danach fragen, was Physiker *tun*, wenn sie *Physik treiben*, also Experimente durchführen und über Experimente nachdenken. Diese Tätigkeiten der realen physikalischen Forschungsarbeit möchte ich in folgendem zu analysieren versuchen, natürlich anknüpfend in erster Linie an bedeutungsvolle, entscheidende Erkenntnisleistungen der Physik. Hierfür bietet ja insbesondere unser eigenes Jahrhundert eine reiche Sammlung von Beispielen, da in unserem Jahrhundert die Physik nicht nur zu besonders erstaunlichen Erfolgen, sondern auch zu einem vertieften *Selbstverständnis* gekommen ist.

Bei dieser Erörterung wird es nützlich sein, den Begriff „Experiment“ etwas weiter zu fassen, als es dem üblichen Sprachgebrauch entspricht. Wenn ein Astronom sein Fernrohr auf einen bestimmten Fixstern richtet, so werden wir im üblichen Sprachgebrauch nicht von einem Experiment, sondern von einer „Beobachtung“ sprechen. Ich möchte aber in folgendem zwecks einfacherer Ausdrucksweise auch die wissenschaftliche Beobachtung mit in den Begriff des Experiments einbeziehen, das Experiment allgemein definierend als Vor-

gang einer *Beobachtung unter Bedingungen, die der Beobachter planmäßig eingerichtet hat*.

Wenn wir den Begriff „Experiment“ in dieser Allgemeinheit meinen, so können wir sagen, daß der Physiker als solcher sich *ausschließlich* damit befaßt, Experimente zu machen oder über Experimente nachzudenken.

Diese schlichte Feststellung ist zwar noch nicht ausreichend, um den Physiker zu unterscheiden etwa vom Biologen oder Chemiker oder Astronomen. Solche Unterscheidungen beruhen ja auf einer engeren Auswahl der vom Physiker bevorzugten Untersuchungsgegenstände und Untersuchungsmittel; eine Auswahl, deren genauere Besprechung für den Zweck der vorliegenden Betrachtung nicht wichtig ist und daher unterbleiben soll. Noch weniger soll eingegangen werden auf die berühmte Streitfrage der Unterscheidung von Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften. Es sei nur bemerkt, daß ich den bekannten von *Rickert* unternommenen Versuch, diese Unterscheidung zu analysieren, als mißglückt ansehe.

Worin besteht nun das Nachdenken des Physikers über Experimente? Dieses Nachdenken kann sich beziehen auf Fragen der *Anwendung* — wobei nicht nur an Verwendung der Versuchsergebnisse für Zwecke der technischen Nutzbarmachung zu denken ist, sondern auch an solche Anwendungen, die der Fortsetzung des Experimentierens dienen sollen, ohne Rücksicht auf sonstigen Nutzwert.

In unserer Betrachtung soll aber nur diejenige Richtung des Nachdenkens verfolgt werden, welche sich unmittelbar auf *reine Erkenntnisabsicht* richtet. Da die Physik im engeren Sinne nicht, wie die Astronomie, die besonderen Eigenschaften von Einzelgebilden — etwa Sonne oder Mond — untersucht; und da sie nicht, wie Geologie und Paläontologie, eine historische Vergangenheit aus hinterlassenen Spuren zu rekonstruieren sucht, so ist das Grundschema physikalischen Nachdenkens über Experimente sehr einfach.

Es handelt sich darum, unter mannigfachen Veränderungen der eingerichteten Bedingungen Experimente zu machen und ihre Ergebnisse in Regeln zusammenzufassen. „*Im Vakuum fallen alle Körper gleich schnell* — sie sind nach der ersten Sekunde 490 Zentimeter gefallen; nach der zweiten das Vierfache, nach der dritten, vierten . . . das Neunfache, Sechzehnfache . . . dieser Strecke.“ Dies ist ein typisches Beispiel einer von den Physikern gefundenen *Regel*: Die experimentelle Einrichtung, im Vakuum fallen zu lassen, ergibt, daß alle sonstigen Verschiedenheiten der fallenden Körper für diesen Vorgang bedeutungslos werden, so daß eine klare und allgemeine Regelmäßigkeit erkennbar wird. Diese Regelmäßigkeit kann in einem einfachen *mathematischen* Gesetz ausgedrückt werden — es tritt ja im Obigen die Reihe der Quadratzahlen 1, 4, 9, 16, . . . auf. Wir nennen eine solche mathematisch faßbare Regelmäßigkeit gern ein „*Naturgesetz*“; und das obige Beispiel ist bekanntlich das Fallgesetz. Zusammen mit dem Trägheitsgesetz ergibt das Fallgesetz, daß ein geworfener Stein, sofern der Einfluß der Luftreibung unerheblich ist, eine Parabel beschreibt — wiederum eine einfache und schöne mathematische Gesetzmäßigkeit.

Aber Erdsatelliten beschreiben nicht mehr Parabelbahnen, sondern Ellipsenbahnen, wobei der Erdmittelpunkt einer der Brennpunkte der Ellipse ist.

Folglich können wir das Naturgesetz von der Parabelbahn des geworfenen Steines als einen Sonderfall des allgemeineren Gesetzes von der Ellipsenbahn ansehen: Grundsätzlich muß auch die Bahn des geworfenen Steines elliptisch sein; aber für diesen Fall ist die Ellipse nicht in meßbarer Weise verschieden von einer Parabel, weil der im Erdmittelpunkt liegende Brennpunkt im Vergleich zur Bahnkurve des Steines sehr weit entfernt ist.

Aus diesem Beispiel erkennen wir deutlich, was der Physiker tut, wenn er über experimentelle Tatsachen *nachdenkt*. Es handelt sich um zweierlei:

1. *In experimentellen Befunden eine mathematisch faßbare Regel zu erkennen.* Eine gewisse Intuition ist hierbei unentbehrlich. Außerdem Kenntnis der Mathematik — oder auch die Fähigkeit, die erforderliche Mathematik erst zu schaffen, wie es von *Newton* bei seiner Aufstellung der Planetenmechanik, aber in anderer Weise auch von den Quantentheoretikern unseres Jahrhunderts getan wurde. Für die Schaffung der Allgemeinen Relativitätstheorie hat *Einstein* ein zwar den Mathematikern bekannt gewesenes, aber physikalisch vorher nie benutztes Kapitel der Mathematik gewissermaßen aus der Verborgenheit ausgraben müssen.
2. *Logische Beziehungen zwischen verschiedenen empirisch erkannten Regeln aufzufinden;* im einfachsten Fall derart, daß die eine Regel als Sonderfall einer anderen, allgemeineren und umfassenderen erkannt wird — wie das Parabelgesetz als Sonderfall oder Grenzfall des Ellipsengesetzes.

Nach diesen Vorbereitungen kann ein Satz ausgesprochen werden, welcher den eigentlichen Inhalt dieser Betrachtungen ausmachen soll — alles Folgende wird nur noch Erläuterung dazu sein.

In den beiden gekennzeichneten Tätigkeiten — Aufspürung von Regeln in experimentellen Befunden; und logische Einordnung der verschiedenen Regeln in ein System von möglichst wenigen, möglichst allgemeinen Regeln — in diesen Tätigkeiten *erschöpft* sich das Nachdenken des Physikers über physikalische Erkenntnisfragen.

Die mit diesem Satze ausgedrückte Beurteilung der erkenntnistheoretischen Sachlage in der Physik wird bekanntlich oft als „positivistisch“ bezeichnet. Ich möchte aber hier dieses Wort ausdrücklich *nicht* gebrauchen. Einerseits wegen seiner Vieldeutigkeit — mit dem Worte „Positivismus“ werden ja sehr viele verschiedene Dinge bezeichnet, die zum großen Teil nichts oder fast nichts zu tun haben mit dem Thema unserer Betrachtung, und zu welchen ich daher auch keine Zustimmung ausdrücken oder für welche ich keine Mitverantwortung übernehmen möchte. Vor allem aber ist es mir wichtig, zu unterstreichen, daß in den vorliegenden Ausführungen nicht ein bestimmter „Standpunkt“ vertreten werden soll, über den man streiten könnte, sondern daß es sich lediglich um eine Analyse und Beschreibung des wirklichen Geschehens in der physikalischen Forschungsarbeit handelt — in unserem Jahrhundert, und in früheren Jahrhunderten, bis zurück zur Aufstellung der *Euklidischen* Geometrie. Wer die Berechtigung des ausgesprochenen Satzes bezweifeln möchte, nach welchem sich die Tätigkeit physikalischen Nachdenkens in dem erschöpft, was angedeutet wurde, der müßte aus der Gegenwart oder aus der Geschichte der Physik irgend ein Beispiel vorweisen, welches eine *andere* Form physi-

kalischen Nachdenkens als bedeutsam für die Gewinnung bleibender Erkenntnisschätze erweist.

Unsere These, welche *ohne* den Hinweis auf den so umstrittenen Begriff des „Positivismus“ vielleicht als sehr blaß und beinahe inhaltlos erscheinen könnte, erweist freilich das Gewicht ihres Inhalts, wenn wir sie vergleichen mit dem, was Außenstehende gewöhnlich von der physikalischen Forschung und Erkenntnis erwarten — wir sehen dann, daß die Physik etwas völlig anderes ist und erstrebt, als das, was man sich gemeinhin darunter vorstellt.

Man stellt sich ja so oft vor, daß es der Sinn und das Ziel der naturwissenschaftlichen Forschung wäre, die Naturtatsachen zu *verstehen* und zu *erklären*; zu begreifen, *warum* es so ist und so sein *muß*, wie es ist. Man meint gern, daß die Physik danach strebe, das *Wesen* der erforschten Dinge und Kräfte zu erkennen, oder von dem Erforschten *Rückschlüsse* zu ziehen auf etwas *dahinter* Stehendes. Alle diese Worte können in einer sachlich zutreffenden und begrifflich sauberen Erläuterung des physikalischen Erkenntnisvorganges überhaupt nicht vorkommen. Es kann da weder von *Verstehen* die Rede sein, noch von *Erklärung*. Sondern in der wirklichen Physik handelt es sich ausschließlich darum, einen Einzelfall unter Regeln einzuordnen, oder eine engere Regel als logische Folgerung allgemeinerer Regeln zu erkennen. Ein Begreifen oder Begreifenwollen, *warum* Naturtatsachen so sind, wie sie sind — also ein Begreifen mit dem Ergebnis, zu verstehen, daß diese Naturtatsachen so sein *müssen*, wie sie sind, gehört gar nicht zur Physik. Erkenntnis vom *Wesen* einer Sache oder Erscheinung, oder Rückschluß vom Feststellbaren auf etwas *dahinter* Stehendes liegen weder in der Möglichkeit, noch in der Absicht der Physik.

Man kann zwar in älteren Lehrbüchern der Physik — aus einer Zeit stammend, in welcher das *Selbstverständnis* der Physik noch durch mancherlei Nebel getrübt war — Bemerkungen finden, die mit tiefem Bedauern zum Ausdruck bringen, daß wir das Wesen der Kraft, oder z. B. das Wesen der Elektrizität noch nicht kennen, sondern nur ihre *Wirkungen* untersuchen können. Aber das war eine Verkennung der Problemlage. Wir kommen nur dann zu einer zutreffenden Beurteilung der Physik, wenn wir uns loslösen von allen Resten der Vorstellung, es sei ihre Absicht, etwas hinter der Erscheinungswelt Liegendes zu erkennen — oder zu solcher Erkenntnis Beiträge zu gewinnen —, durch Untersuchung von Gegenständen der Erscheinungswelt. Die Experimente sollen und können uns nicht Aufschlüsse geben über etwas *anderes*; sondern die experimentellen Befunde selber sind ausschließlicher Gegenstand unseres Nachdenkens und unseres Redens über Physik.

Diese klare Richtlinie physikalischer Arbeit mußten sich die Physiker gerade in unserem Jahrhundert wiederholt mit größter geistiger Entschiedenheit vor Augen halten, unter Abwehr und Überwindung alter Denkgewohnheiten, welche hindernd im Wege standen. Die erstaunlichsten geistigen Leistungen in der Physik unseres Jahrhunderts — in Relativitätstheorie und Quantentheorie — sind gerade mit solchen Schritten der deutlicheren Vergegenwärtigung von Sinn und Aufgabe der Physik verknüpft gewesen. Es wiederholte sich dabei in neuen Anwendungen jener Schritt, den *Galilei* als Bahnbrecher

der Physik vollzog, als er das Fallgesetz entdeckte: während *Aristoteles* sich mit der Frage gequält hatte, *warum* Steine fallen, verwarf *Galilei* diese unphysikalische Fragestellung und machte statt dessen den Fallvorgang zum Gegenstand experimenteller Untersuchung. Statt weiter nach einer Erklärung des Falles zu suchen, strebte er nach einer genaueren Beschreibung des Vorganges.

Der mathematischen Naturgesetzlichkeit, welche *Galilei* dabei entdeckte, haben sich seitdem andere, viel verwickeltere mathematische Gesetze angereicht, die von den Physikern in anderen Experimenten entdeckt worden sind. Für moderne Experimente mit Atomen und Elementarteilchen, in denen eine Fülle von merkwürdigen Gesetzmäßigkeiten zutage tritt, ist das gesamte mathematische Rüstzeug der Relativitätstheorie nötig, wenn man diese Gesetzmäßigkeiten beschreiben will — zu der bescheidenen Andeutung mathematischer Gesetzlichkeit, welche in *Galilei's* Befunden aufleuchtete, verhält sich der heutige Erkenntnischatz mathematischer Naturgesetzlichkeit etwa wie das Alpengebirge zu einem Maulwurfshügel. Trotzdem ist die geistige Situation der Physik heute die gleiche, wie zur Zeit ihrer Begründung durch *Galilei*.

In derjenigen erkenntnistheoretischen Selbstkritik des physikalischen Denkens, in welcher sich das schon erwähnte geschärfte Selbstverständnis der modernen Physik entwickelt hat, konnte es sich nicht etwa darum handeln, über *Galilei's* Einstellung *hinaus* zu kommen, sondern nur darum, diese Einstellung noch deutlicher bewußt zu machen und ihre immer breitere Durchsetzung gegenüber den akutesten Schwierigkeiten zu fordern. Diese Selbstkritik der Physiker kann hier nicht in der Breite und Fülle ihrer Probleme und in der zeitlichen Ausdehnung ihrer Entwicklung verfolgt werden, und nicht einmal der bedeutungsvolle klärende Einfluß kann besprochen werden, den *Ernst Mach* darauf ausgeübt hat. Erwähnt sei lediglich, daß dasjenige, was ich bisher auszuführen versuchte, in den erkenntnistheoretischen Überlegungen der Physiker oft formuliert worden ist als die Notwendigkeit der Ausschaltung von *Scheinproblemen* oder von *sinnlosen Fragen*.

Ein solches Scheinproblem ist nach physikalischer Auffassung die Frage nach dem Wesen der Kraft — wobei die Frage von denen, welche ihre Ungelöstheit bedauerten, ausdrücklich so gemeint war, daß ihre Inangriffnahme durch Experimente nicht einmal vorstellbar war, weil ja die experimentellen Tatsachen mit der abwertenden Note versehen wurden, daß sie uns lediglich über die *Wirkungen* der Kraft statt über ihr Wesen unterrichten können.

Viel hartnäckiger behaupteten sich im Denken der Physiker gewisse Scheinprobleme, mit welchen erst die aus der Quantentheorie hervorgegangene *Quantenmechanik* aufgeräumt hat. Es ist nicht so, daß man jedes Scheinproblem von vornherein als solches erkennen oder entlarven könnte; die endgültige Klarstellung, daß es sich bei einer berühmten Frage, die lange die Forscher beschäftigt hat, tatsächlich um ein Scheinproblem handelte, ergab sich (wie *v. Weizsäcker* gelegentlich mit Recht betont hat) erst im Zusammenhang positiver neuer Erkenntnisse; jedoch kann der Verdacht, daß eine gewisse Frage in Wahrheit nur ein Scheinproblem sei, mitunter auf den richtigen Weg zur Gewinnung dieser Erkenntnisse führen. Nur zwei berühmte Scheinprobleme seien hier angedeutet.

Die Physiker des Jahrhundertbeginns waren gewohnt — und zwar mit guten Gründen — das *Licht* als einen Wellenvorgang anzusehen. Seit 1905 wurde aber von *Einstein*, unter Fortführung und Verschärfung *Planck*'scher Erkenntnisse, die Behauptung begründet, daß die Energie eines Lichtstrahls in einzelnen Teilstücken dahinfliege, wie in einer Geschoßgarbe. Die eine wie die andere Vorstellung ist zu stützen durch Experimente, in welchen entweder Welleneigenschaften oder statt dessen Geschoß-Eigenschaften der Lichtenergie deutlich in Erscheinung treten.

Es ergab sich also die Frage: Was ist das Licht in Wirklichkeit? *Ist* es Geschoßgarbe, oder *ist* es Wellenvorgang? Die Empfindungen der Physiker, wie ich sie in meiner Jugendzeit miterlebte, waren angesichts dieses scheinbar unlösbaren Widerspruchs gemischt aus Verzweiflung über die Unfähigkeit menschlichen Denkens, hier noch mitzukommen, und Bewunderung für die gerade deshalb zu weiterbohrendem Forschen anreizende und hinreißende Merkwürdigkeit der Naturgeheimnisse.

Die seit 1925 gelungene vollständige Aufklärung der Schwierigkeit zeigte, daß es ein Scheinproblem war, zu fragen, ob nun das Licht Welle oder Teilchen *ist* — das Wort „ist“ hielt uns hier lange an einem Scheinproblem fest; und Scheinprobleme können nicht gelöst, sondern sie müssen als solche erkannt und damit ausgemerzt werden. Das Licht „ist“ nicht entweder Welle oder Korpuskel; sondern gewisse Arten von Experimenten lassen naturgesetzlich solche Eigenschaften des Lichtes hervortreten, welche mit Hilfe des Wellenbegriffs zu beschreiben sind; aber *andere* Arten von Experimenten lassen den Lichtstrahl als Garbe dahinfliegender Energiestücke erkennen. Der scheinbare Widerspruch löst sich dadurch auf, daß man klarstellen kann: Die gemeinten Experimente der *ersten* Art und diejenigen der *zweiten* Art können nie zur gleichen Zeit am gleichen Ort am gleichen Lichtstrahl ausgeführt werden — die dazu nötigen experimentellen Anordnungen sind so verschieden, so *gegensätzlich*, daß sie nicht gleichzeitig am gleichen Orte aufgebaut werden können.

Dies war der Versuch einer sehr schlichten Erläuterung dessen, was wir nach *Niels Bohr* als „Komplementarität“ bezeichnen, und was wohl die tiefgründigste Erkenntnisleistung der Physik seit ihren geschichtlichen Ursprüngen bedeutet. Um aber zunächst fortzufahren: Mit der Entlarvung des Scheinproblems, das in der Frage nach dem „Sein“ des Lichtes steckte, wird für große Mannigfaltigkeiten möglicher Experimente die Lage bereits geklärt — derart nämlich, daß man ohne Unsicherheit angeben kann: für Experiment A ist die Wellentheorie zuständig, und für Experiment B die Korpuskulartheorie. Aber man kann auch viele andere Experimente machen, in denen weder der eine noch der andere dieser gegensätzlichen Fälle rein verwirklicht ist — das sind gerade die besonders aufschlußreichen Experimente, welche an uns die Anforderung stellen, eine einheitliche, zusammenhängende Theorie zu schaffen, welche für *alle* Fälle optischer Experimente die zuständigen Gesetze enthält. Diese Anforderung ist natürlich noch keineswegs erfüllt allein durch Ausmerzung des erörterten Scheinproblems; sondern sie konnte nur dadurch erfüllt werden, daß eine neuartige mathematische Theorie des Lichtes geschaffen wurde, welche die alte Wellentheorie und die alte Korpuskulartheorie als Sonderfälle in sich enthält, und welche die Gesetzmäßigkeiten der hier be-

stehenden Komplementarität in mathematischer Klarheit zum Ausdruck bringt. Diese neue Theorie des Lichtes ist 1925 begründet worden; sie wurde aufgebaut auf der sogenannten Quantenmechanik.

Die 1924/25 entstandene Quantenmechanik vollzog die Ausmerzung eines anderen Scheinproblems der Physik. Man hatte durch *Rutherford* gelernt, daß jedes Atom einen Kern besitzt, um den sich die Elektronen des Atoms bewegen. Das Ganze ist also einer winzigen elektrischen Antenne zu vergleichen; aber man wußte bereits seit 1913 (durch *Niels Bohr*) so viel von der quantentheoretischen Gesetzmäßigkeit der Atome, daß es klar war, daß diese Atom-Antennen erheblich anders arbeiten, als große, technisch konstruierte Antennen. Diese Tatsache bereitete erhebliche Schwierigkeiten für die Durchdenkung der Frage: *In welchen Bahnen bewegen sich die Elektronen im Atom?*

Die dramatische Geschichte der darauf hinizielenden Forschung kann jetzt nicht ausführlich berichtet werden. Je weiter man vordrang, desto schwieriger und widerspruchsvoller schien alles zu werden. Die von *Heisenberg* angebahnte, von mehreren Physikern systematisch ausgeführte „Quantenmechanik“ beruhte auf dem Entschluß, die ganze Frage nach den Bahnen der Elektronen im Atom als *Scheinproblem* anzusehen. Man hatte dadurch, daß man nach solchen Bahnen fragte, den Rahmen dessen verlassen, worüber überhaupt in der Physik sinnvoll geredet werden kann — denn diese Bahnen sind ja keineswegs, wie die Bahnen der Planeten oder geworfener Steine, einer sie als solche unmittelbar erkennenden experimentellen Beobachtung zugänglich. *Heisenbergs* von ihm nachdrücklich betonter Grundgedanke im Entwurf einer neuen „Quantenmechanik“ war es, nur *mathematische Beziehungen zwischen beobachtbaren Größen* zu formulieren; es bestand, wie er erkannte, gar keine Veranlassung, die Bahnen der Elektronen im Atom als beobachtbar, als Gegenstand möglicher Experimente anzusehen — und nach den erkenntnistheoretischen Auffassungen der modernen Physik bedeutete das, daß es sinnlos ist, überhaupt von solchen Bahnen zu reden.

Das Bisherige möge folgendermaßen zusammengefaßt werden: In der Physik können wir nur solche Aussagen oder Fragen als sinnvoll anerkennen, deren Inhalt sich *erschöpft* in Aussagen oder Fragen über experimentelle Tatbestände und die in ihnen auftretenden Regelmäßigkeiten oder Gesetzmäßigkeiten. Jeder Versuch einer physikalischen Aussage, die diesen Rahmen, also den Rahmen der beobachtbaren Tatbestände, verläßt, ist gegenstandslos — sie kann nicht richtig oder falsch sein, sondern nur schlechthin sinnlos. (Um zu betonen, daß wir hier ausschließlich von der Physik sprechen, ohne die Übertragbarkeit ihrer erkenntnistheoretischen Grundsätze auf andere Gebiete zu untersuchen, könnten wir das Wort „sinnlos“ auch ersetzen durch „nicht zur Physik gehörig“.)

Man hat oft das Experiment eine Frage an die Natur genannt, und man könnte dies so erweitern: Physikalisch sinnvoll sind diejenigen und nur diejenigen Fragen, welche sich *übersetzen* lassen in jene Sprache, in welcher wir Fragen an die Natur richten können — so, daß die Natur uns antwortet.

Ein berühmtes Beispiel einer nach diesem Kriterium sinnlosen (oder milder ausgedrückt, nicht zur Physik gehörigen) Frage ist die berühmte Frage *Heideggers*: „Warum ist überhaupt Seiendes, und nicht vielmehr Nichts?“ Denn

Experimente, welche geeignet sein könnten, uns eine Antwort auf eine solche Frage zu geben, sind ja grundsätzlich nicht vorstellbar; man kann nicht gut die Möglichkeit, daß es überhaupt kein Seiendes gäbe, in die Voraussetzungen eines Experimentes einbeziehen.

Wenn nun jemand meint, daß gerade deshalb diese Frage viel wichtiger und betrachtenswerter sei, als alle physikalisch sinnvollen Fragen, so kann der Physiker solchen Meinungen gegenüber natürlich Toleranz üben — wenn es auch schwerlich mehr als eine Toleranz aus Höflichkeit sein wird. Diese Toleranz muß aber ein Ende finden vor Meinungen, die sich nicht damit begnügen wollen, auf Scheinprobleme angebliche Antworten zu wissen, sondern überdies auch zu physikalisch *sinnvollen* Fragen etwas sagen möchten — mit Antworten, deren Wahrheit angeblich unabhängig von der Erfahrung zu gewährleisten wäre. Solche Antworten — gegründet auf die Überzeugung, daß es außerhalb der experimentellen Erfahrung eine Instanz oder ein Organ gäbe, welche über die zu erwartenden Ergebnisse von Experimenten entscheiden könnten — sind vielfach vertreten, und werden zum Teil auch heute noch mit großer Zähigkeit verfochten. Als schon etwas älteres Beispiel sei das gegen Ende des vorigen Jahrhunderts erschienene Buch von *Deussen*: „Elemente der Metaphysik“ erwähnt, welches ich gern zitiere, obwohl der Verfasser gewiß nicht zu den ganz großen Philosophen gehört — worüber er selber freilich anderer Meinung war, wenn er sich in der Aula der Universität Kiel zwischen den Büsten von *Plato* und *Aristoteles* niedersetzte. Er ist in seinem Buche auf folgende Fragen eingegangen:

1. Ist der Weltraum unendlich oder ist er es nicht ?
2. Ist die Zeit unendlich ? Läuft sie von unendlicher Vergangenheit her oder tut sie das nicht ?
3. Gibt es im Naturgeschehen eine lückenlose Kausalität ?
4. Kann Materie im physikalischen Geschehen erzeugt oder vernichtet werden ?

Zu jeder dieser Fragen war *Deussen* überzeugt, daß sie beantwortbar sei aus dem *reinen Nachdenken* heraus, ohne eine Bezugnahme auf experimentelle Ermittlungen. Er rühmte den von ihm erläuterten Antworten zweierlei nach:

1. Daß sie für jeden Menschen als richtig zu beweisen seien, der überhaupt für Beweise empfänglich ist. 2. Daß diese Antworten sicherer seien, als jede experimentelle Feststellung — würden zum Beispiel Physiker es unternehmen, die Möglichkeit einer Erzeugung oder Vernichtung von Materie zu prüfen, so wäre das Ergebnis lediglich der Nachweis ihres Nichtvorkommens unter den bislang verwirklichten experimentellen Bedingungen — während nach *Deussen* die philosophische Überlegung die unumschränkte und ausnahmslose Gültigkeit des Gesetzes der Materieerhaltung beweisen kann.

Was nun *Deussens* vier Antworten auf die obigen Fragen betrifft, so wissen wir heute, daß die dritte und vierte Antwort positiv falsch war. Betreffs der zweiten Antwort ist es wahrscheinlich, daß sie falsch war. Betreffs der ersten sind viele heutige Astronomen und Physiker geneigt, sie als vermutlich falsch anzusehen: Es ist gut möglich, daß der Weltraum — der Raum als solcher — nur endliche Gesamtgröße hat. Es ist mehr oder weniger wahrscheinlich, daß die Vergangenheit nicht unendlich war, sondern vielmehr die Zeit einen echten

Anfang hatte — vor etwa acht Milliarden Jahren. Es ist sicher, daß es im Naturgeschehen keine lückenlose Kausalität gibt. Es ist sicher, daß Materie erzeugt und vernichtet werden kann.

Noch bedeutungsvoller aber, als die Ersetzung vielleicht aller Antworten *Deussens* durch das Gegenteil — wozu bei den ersten beiden Fragen noch Unsicherheiten bestehen — ist die vollkommene Einigkeit aller heutigen Astronomen und Physiker darüber, daß diese Fragen echte naturwissenschaftliche Forschungsfragen sind, also Fragen, die der empirischen Entscheidung überlassen werden müssen und *nicht* durch bloßes Nachdenken beantwortet werden können.

Die eingangs gegebene Erläuterung des physikalischen Erkenntnisvorgangs enthält ja ein ganz radikales Bekenntnis zur ausschließlich empirischen Wahrheitsfindung — und dieser radikale Empirismus ist nicht etwa eine private Liebhaberei des Verfassers, sondern sie ist die der gesamten modernen Physik zugrunde liegende Überzeugung. Indem oben Physik definiert wurde als Durchführung von Experimenten und Reden oder Nachdenken über diese Experimente — Nachdenken in der Weise, welche genauer besprochen wurde — ist ja bereits gesagt, daß wir als Physiker nicht mit irgend einer geistigen Fähigkeit des Menschen rechnen, welche uns im voraus wissen ließe, wie gewisse Experimente verlaufen müssen, denen neue, bislang noch nicht verwirklichte Bedingungen zugrunde gelegt sind. Der menschlichen Vernunft zuzutrauen, sie hätte solche Fähigkeiten, sie könnte aus dem reinen Nachdenken heraus Richtlinien erkennen, an welche sich die Ergebnisse aller in Zukunft auszuführenden Experimente halten müßten — eine solche Einschätzung der menschlichen Vernunft und ihrer Leistungsmöglichkeiten wäre offenbar absurd, nachdem wir uns ausdrücklich entschlossen haben, auch gegenüber der Gesamtheit der bis heute schon vollzogenen Experimente auf jedes „Verstehen“ — im eigentlichen anspruchsvollen Sinne — zu *verzichten*, und die sich empirisch ergebenden Gesetzmäßigkeiten einfach hinzunehmen als faktische Gegebenheiten, lediglich ihre logischen Beziehungen zu *anderen* Gesetzmäßigkeiten prüfend, welche letzten Endes *ebenfalls* den Charakter einer jedem Verstehenwollen verschlossenen Tatsächlichkeit haben. Ebenso, wie wir es hinnehmen müssen, daß es Seiendes gibt, und nicht nur Nichts, so müssen wir auch jede einzelne empirische Tatsache und jede in empirischen Tatsachen entdeckte Regelmäßigkeit hinnehmen, ohne metaphysisch verstehen zu wollen oder zu können, *warum* sie besteht — wir können lediglich prüfen, ob das neu Entdeckte sich unter schon bekannte andere Gesetzmäßigkeiten unterordnet oder nicht. Am allerwenigsten dürfen wir uns also anmaßen, durch bloßes Nachdenken entscheiden zu wollen, zu welchen Ergebnissen künftige, heute noch gar nicht mögliche Experimente führen werden.

Diese Verhältnisse sind für die Physiker besonders deutlich sichtbar geworden, seit *Einstein's* Relativitätstheorie uns gelehrt hat, die *Geometrie* in ihrer wahren Beziehung zur Physik zu sehen. Wir wissen heute, daß die Geometrie ein Teilkapitel der Physik ist — sie handelt von Experimenten, die man mit gewissen besonders einfachen Mitteln machen kann — wie Linealen und Längenmaßen, Winkelmessern, Zirkeln, Hohlmaßen und als Visierlinien benutzten Lichtstrahlen. So kann man empirisch ausmessen, daß die Winkelsumme in jedem

ebenen Dreieck gleich zwei Rechten ist, oder daß ein Dreieck mit den Seitenverhältnissen 3 : 4 : 5 rechtwinklig ist, wie schon die alten Ägypter empirisch gewußt haben.

Vor *Einstein* jedoch wurde die Stellung der Geometrie im System der Wissenschaften ganz anders beurteilt. Man meinte damals, daß die Geometrie der Physik sachlich *voranginge* — daß zunächst einmal die Geometrie die Gesetze räumlicher Gestaltung festzustellen habe, und daß dann die Physik die im Raume sich abspielenden Vorgänge untersuchen könne —, wobei die Gesetze der Geometrie einen unabänderlich vorgegebenen Rahmen liefern sollten. Diese geometrischen Gesetze schienen trotz empirischer historischer Ursprünge Wahrheiten von überempirischer Bedeutung zu sein — die geometrischen „Lehrsätze“ sind ja logisch beweisbar als zwangsläufige Folgerung weniger geometrischer Grundgesetze, der *Axiome* der Geometrie, und diese Axiome wurden gern als Grundwahrheiten angesehen, die sich unserem Denken aufdrängen, ohne empirische Bestätigung oder Prüfung nötig zu haben.

Die heutige empiristische Auffassung der Physik sagt statt dessen: Die Axiome sind *nicht* Wahrheiten, deren Gültigkeit aus irgend einem apriori heraus gesichert ist; sie sind im Gegenteil das Endergebnis der logischen Analyse geometrischer Regeln, geometrischer Gesetzmäßigkeiten, welche empirisch erkannt und begründet und dann auf immer weniger, immer allgemeinere Regeln zurückgeführt wurden — also ein Verlauf des geometrischen Erkenntnisvorganges, welcher genau dem Schema entspricht, welches eingangs erläutert wurde als Schema *physikalischer* Erkenntnisgewinnung. Nur diese empiristische Deutung der Geometrie gibt uns auch ihr gegenüber jene wunderbare gedankliche Freiheit, welche uns durch einen entschiedenen Empirismus gegeben wird — eine Freiheit, ohne welche Relativitätstheorie und Quantenmechanik gar nicht hätten entstehen können. Die Physik unseres Jahrhunderts hat sich ja nicht nur aus dem Rahmen der euklidischen Geometrie und aus dem Rahmen einer lückenlosen Kausalitätsvorstellung entfernt; sie hat auch die Meinung, daß bewegte Teilchen, wie Elektronen, sich in bestimmten Bahnen bewegen müßten, als zu eng und folglich irreführend erkannt und sie durch neue, der erfahrbaren Wirklichkeit besser angepaßte Vorstellungen ersetzt; und sie hat nicht nur den Begriff der „Bewegung“ für den Fall des Elektrons in Anführungsstriche gesetzt, sondern die gleichen Anführungsstriche angebracht am Begriff des „Seins“, angewandt zum Beispiel auf das Licht.

Die alte Meinung, es gäbe für die Physik gewisse Grundgesetze oder Grundvorstellungen, die für alle Zeit als unabänderliche Wahrheit feststehen würden, ist also in unserem Jahrhundert gründlich und von verschiedensten Seiten aus über den Haufen geworfen worden. Als Empiristen können wir nie vergessen, daß die uns bekannten Gesetze der Physik uns nur durch empirische Beweise erhärtet sind. Empirische Beweise stützen sich aber auf *begrenzte* experimentell erforschte Erscheinungsgebiete und haben auch nur *begrenzte Genauigkeit*. Steigerung der Meßgenauigkeit oder andererseits die Erschließung neuartiger experimenteller Möglichkeiten kann dazu führen, daß Gesetze, die wir bisher als allumfassend und lückenlos gültig angesehen haben, nunmehr eine Begrenzung ihres Gültigkeitsgebietes erleiden.

In diesem Sinne wird durch die Relativitätstheorie die Zuverlässigkeit der gewohnten euklidischen Geometrie eingegrenzt, und dadurch ergibt sich die Denkmöglichkeit, daß unser Weltraum trotz Unbegrenztheit dennoch endlich sein könnte. Ebenso einwandfrei ergibt sich die Denkmöglichkeit einer nur endlichen Vergangenheit, sobald wir uns klar machen, daß für den Empiristen auch die Existenz der Vergangenheit nicht eine apriori gesicherte Wahrheit ist, sondern das Ergebnis einer gedanklichen *Rekonstruktion* dieser Vergangenheit auf Grund empirisch gegebener Spuren. Die so rekonstruierte Vergangenheit braucht nicht ins Unendliche zurückzugehen, sondern kann auch auf einen Anfangszustand des Weltalls hinführen, welcher keine weitere Fortsetzung dieser Rekonstruktion mehr gestattet. Die Relativitätstheorie begünstigt solche Erwägungen, und die empirischen Tatsachen der Astrophysik sprechen stark für sie, obwohl es hier noch keine volle Klarheit gibt.

Endlich kann auch über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein lückenloser Kausalität nur empirisch entschieden werden; und diese Entscheidung ist längst gefallen. *Heisenberg* hat die Sachlage dahingehend gekennzeichnet, daß die Quantenmechanik die definitive Widerlegung des Kausalitätsprinzips erbracht hat. Zum genauen Verständnis dieser Aussage muß man sich klar machen, was das Wort „Kausalität“ im Sprachgebrauch der Physik bedeutet. Dazu betrachten wir am besten zunächst ein anderes Wort, welches den Vorzug hat, hinsichtlich seiner sinngemäßen zweckmäßigen Definition unumstritten zu sein: Wir wollen jetzt vom Begriff der „Determinierung“ sprechen, und wir machen uns seine Bedeutung an einem Beispiel klar. Wir wählen als Beispiel unser Planetensystem mit seinen verschiedenen Planeten und Monden. Wenn ein Astronom (oder ein Physiker oder Mathematiker) den Zustand des Planetensystems im gegenwärtigen Augenblick genau kennt — dazu müssen ihm bekannt sein die Massen dieser verschiedenen Himmelskörper, die Orte (relativ zur Sonne), wo sie sich augenblicklich befinden, und die Geschwindigkeiten (nach Größe und Richtung), mit denen sie sich augenblicklich bewegen — dann ist es für diesen Astronomen eine Sache bloßer Rechnung, bloßer Mathematik, uns vorauszusagen, wie die Bewegungen im Planetensystem weitergehen werden, wo Planeten und Monde sich nach einem Jahr befinden werden oder nach zehn Jahren; soweit die Genauigkeit in der Ausmessung des gegenwärtigen Zustands ausreichend ist, kann der gesamte künftige Bewegungsverlauf vorausberechnet werden. Diese Tatsache einer berechenbaren Vorausbestimmtheit der Bewegung meinen wir, wenn wir von *Determinierung* sprechen.

Was kann nun ein folgerichtig denkender Physiker meinen, wenn er von Kausalität spricht? Er kann das Wort Kausalität nur als *gleichbedeutend* mit dem Wort Determinierung benutzen, womit er auf das zurückkommt, was schon vor langer Zeit *Hume* in weniger genauer Form ausgedrückt hat, als er sagte, daß wir einen Vorgang A die „Ursache“ von B zu nennen pflegen, wenn *erfahrungsgemäß* nach A regelmäßig B geschieht — wobei man natürlich den Fall einer ständigen periodischen Wiederholung ... ABABA ..., wie die Wiederholung von Tag und Nacht, ausschließen muß. Es sind seit *Hume* zahllose Druckseiten gefüllt worden in dem Bestreben, zu beweisen, daß eine faktische, empirisch feststellbare Determinierung noch nicht ausreichend sei, um das darzustellen, was als Kausalität zu bezeichnen sei, und was nicht nur nach

Deussen, sondern auch nach der Überzeugung vieler anderer Philosophen eine apriori gesicherte Grundtatsache sein sollte, an welcher durch keinerlei empirische Befunde gerüttelt werden könnte. Alle Bemühungen, erklären zu wollen, was denn Kausalität über Determinierung hinaus noch bedeuten könnte, laufen ungefähr auf das Gleiche hinaus: Die kausale Bedingtheit von B durch A soll nicht lediglich bedeuten, daß B faktisch-empirisch stets A nachfolgt, sondern daß darüber hinaus auch eine zwingende innere Notwendigkeit für diese Folgebeziehung vorhanden sei, und daß diese Notwendigkeit dem menschlichen Geiste irgendwie einsehbar und verstehbar sei, ähnlich dem Zwange *logischer* Beziehungen. Offenbar wird in solchen Erläuterungen mit Aussagen gearbeitet, die nicht nur teilweise, sondern in vollem Umfang zu den physikalisch sinnlosen Aussagen gehören. Ein Naturgesetz nicht nur als empirisch gültig zu erkennen, und nicht nur als Anwendungsfall anderer, umfassenderer Naturgesetze, sondern außerdem auch noch eine innere Notwendigkeit dieses Naturgesetzes zu sehen, das liegt außerhalb der Möglichkeiten der Physik, die ja lediglich die *Kenntnisnahme* empirischer Gesetze und die Durchdenkung ihrer logisch-mathematischen Beziehungen betreibt, aber keinerlei zu ihren Instrumenten zusätzlich hinzukommendes Organ besitzt, welches außerdem eine den Tatsachen angeblich anhaftende Qualität einer „inneren Notwendigkeit“ wahrnehmen könnte.

Der Physiker kann also das Wort „Kausalität“ nur als synonym mit dem Worte Determinierung gebrauchen; und mit Recht hat *Heisenberg*, als er das grundsätzliche Ergebnis der Quantenmechanik — die Widerlegung der Vorstellung lückenloser Determinierung im Naturgeschehen — kurz und eindringlich hervorheben wollte, von einer Widerlegung des Kausalitätsprinzips gesprochen.

Diese Widerlegung ist von der Quantenphysik geliefert durch den Nachweis, daß für die — in „Quantensprüngen“ vollzogenen — Reaktionen einzelner Mikrogebilde, wie Elementarteilchen, Atome, Moleküle, eine statistische Naturgesetzlichkeit gilt, welche nur für große Kollektive gleichartiger Individuen zu determinierender Gesetzmäßigkeit wird.

Bekanntlich hat *Kant* den Hinweis ausgesprochen, daß bei Abwesenheit von Kausalität wissenschaftliche Experimente gar nicht möglich wären — wir müssen kausal zuverlässige Instrumente haben, um überhaupt Beobachtungen und Messungen durchführen zu können. Daraus hat man oft gefolgert, daß Kausalität nicht ein Gegenstand empirischer Nachprüfung sein könnte, da sie ja Voraussetzung des Experimentierens sei. Es ist heute leicht, zu sehen, in welcher Weise Wahrheit und Irrtum in dieser Meinung zu trennen sind. Für die Existenz kausal zuverlässiger Instrumente ist keineswegs eine lückenlose, allumfassende Kausalität nötig. Die Quantenmechanik versichert uns, daß wir Instrumente der gewünschten Art bekommen, indem wir uns auf *makrophysikalische* Instrumente beschränken, d. h. solche, die in allen Teilen aus großen Kollektiven atomarer Individuen bestehen. Aber was wir als Objekt in die Zange dieser Instrumente nehmen, muß keineswegs ebenfalls kausal gebunden sein. Es ist eine empirisch zu entscheidende Frage, ob mikrophysikalische Objekte sich als kausal gebunden erweisen oder nicht; und die von der Atom- und Quantenphysik gelieferte Beantwortung dieser Frage kam in dem erwähnten Satze *Heisenbergs* zum Ausdruck.